

总主编 曹茂盛 李大勇 荆天辅
总主审 蒋成禹 廖 波 刘永兵

材料科学与工程系列教材

根据 1998 年教育部颁布本科最新专业目录编写

崔占全 邱平善 主编
谢辅洲 孙文山 主审

机械工程材料



哈尔滨工程大学出版社

材料科学与工程系列教材

总主编 曹茂盛 李大勇 荆天辅
总主审 蒋成禹 廖 波 刘永兵

机 械 工 程 材 料

主 编 崔占全 邱平善
副主编 高聿为 刘爱东 王世刚
主 审 谢辅洲 孙文山

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/崔占全,邱平善主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2000.3

材料科学与工程系列教材

ISBN 7-81073-009-6

I. 机… II. ①崔…②邱… III. 机械制造材料—高等学校—教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 02352 号

内 容 简 介

本书是材料科学与工程系列教材之一。主要内容包括:机械工程材料的基本理论(含材料的性能、材料的结构、材料的凝固、二元合金及铁碳相图、钢的热处理原理及工艺),机械工程材料(含工业用钢、铸铁、有色金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料及功能材料),机械零件的失效、强化及选材等十五章内容。

本教材可供机械类冷加工各专业及相关专业本科生使用,也可供从事机械工程材料教学的教师及机械设计与制造的工程技术人员参考。

哈 尔 滨 工 程 大 学 出 版 社 出 版 发 行
哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼
发行部电话(0451)2519328 邮编:150001
新 华 书 店 经 销
肇 东 粮 食 印 刷 厂 印 刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 16.25 字数 378 千字

2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~5000 册

定价:17.00 元

序 言

材料科学与工程系列教材是材料科学与工程系列教材编审委员会组织国内部分高校专家学者共同编写的一套大型系列教学丛书,被列为国家新闻出版署“九五”重点图书出版计划。编写本套丛书的基本指导思想是:总结已有、通向未来、面向 21 世纪,以优化教材链为宗旨,依照为培养材料科学人才提供一个捷径的原则,确定培养目标、编写大纲、书目及主干内容。为了确保图书品位、体现国家水平,编审委员会全体成员对国内外同类教材进行了长期细致的调查研究,广泛征求各参编院校第一线任课教师的意见,认真分析国家教育部新的学科专业目录和全国材料工程类专业教学指导委员会第一届全体会议的基本精神,进而制定了具体的编写大纲。经过全体编审人员的共同努力,现在这套教材即将出版发行,我们热切期望这套大型系列教学丛书能够满足国内高等院校材料工程类专业教育发展的需要,并且在教学实践中得以不断充实、完善和发展。

在本书的编写过程中,注意突出了以下几方面特色:

1. 根据科学技术发展的最新动态和我国高等学校学科归并的现实需求,坚持了加强基础、拓宽专业面、更新教材内容的基本原则。

2. 注重优化课程体系,探索教材新结构,即兼顾材料工程类学科中的金属材料、无机非金属材料、高分子材料、复合材料共性与个性的结合,实现多学科知识的交叉与渗透。

3. 反映当代科学技术的新概念、新知识、新理论、新技术、新工艺,突出反映教材内容的现代化。

4. 坚持体现教材内容深广度适中,够用为原则,增强适用性。

5. 在系列教材编写过程中,进行了国内外同类教材对比研究,吸取了国内外同类教材的精华,重点反映新教材体系结构特色,把握教材的科学性、系统性和适用性。

此外,本套系列教材还兼顾了内容丰富、叙述深入浅出、简明扼要、重点突出等特色,能充分满足少学时教学的要求。

参加本套系列教学丛书编审工作的有哈尔滨工业大学、吉林工业大学、哈尔滨工程大学、燕山大学、哈尔滨建筑大学、哈尔滨理工大学、华东船舶工业学院和齐齐哈尔大学等 8 所院校 50 余名专家学者,他们为本套系列教材编审付出了大量的心血。在此,编审委员会对这些同志无私的奉献致以崇高的敬意。在本套系列教材编审的过程中,得到了全国材料工程类专业教学指导委员会主任吴林教授和哈尔滨工业大学材料科学与工程学院副院长方洪渊教授的指导,中国工程院雷廷权院士应邀出席了本套系列教材的终审讨论会,并就学科建设、课程建设及教材建设提出了许多宝贵意见。在此,一并表示衷心的感谢。

限于编审者的水平,疏漏和不妥之处在所难免,欢迎同行和读者指正。

材料与工程系列教材
编审委员会
2000 年 1 月

材料科学与工程系列教材编审委员会

主任委员 曹茂盛

副主任委员 张宝生 张显友 荆天辅

委员 (按姓氏笔画排序)

邓启刚 王荣国 李大勇 李庆芬

孙德智 刘永兵 陈 平 杨尚林

张德庆 姜兆华 赵 品 常铁军

崔占全 谢辅洲 蒋成禹 廖 波

戴金辉

前 言

本书是根据教育部 1998 年调整的最新专业目录及全国材料工程类专业教学指导委员会的精神所编写的系列教材之一。为适应高等教育的改革需要,本着加强基础、淡化专业、宽口径培养、素质教育的宗旨和各校减少教学时数的实际情况,我们组织编写了“机械工程材料”一书。本书可作为机械类各专业的通用教材及相关工程技术人员的参考书。

“机械工程材料”是工科院校开设的一门技术基础课,教材体系与内容的改革至关重要。为此,新编教材注意了以下几个问题:

1. 建立以“机械工程材料”为主的教材体系。
2. 精简传统内容,强化非金属材料及选材的内容。
3. 新增添“功能材料”、“零件失效与强化”等章节。
4. 对新材料、新技术、新工艺有所反映,并指明了未来材料的发展方向。
5. 新编教材体系更加符合教学规律。

作者本着改革的愿望,力图使“机械工程材料”教材体系更加符合机械类各专业的培养目标。但一个科学的、合理的教材体系的建立并不是一朝一夕就能完成的,也不可能一次完全突破旧框架,仅以此书作为教材改革的一次尝试。

全书共分为十五章。其中绪论、第十、十一、十二及第十三章的“未来材料发展方向”部分由燕山大学崔占全编写;第一、三、五、十三、十四、十五章由哈尔滨理工大学邱平善编写;第二、四章由燕山大学高聿为编写;第六章由哈尔滨工程大学刘爱东编写;第七、九章由齐齐哈尔大学王世刚和高玉芳编写;第八章由燕山大学付瑞东编写。此外,哈尔滨工程大学李莉、傅宇东、鞠刚等参加了部分内容的编校工作。全书由哈尔滨工程大学谢辅洲、哈尔滨理工大学孙文山主审。

本书在编写过程中,参考和引用了一些文献资料的有关内容,并得到了哈尔滨工程大学出版社及材料科学与工程系列教材编审委员会的大力支持与指导,在此一并感谢。

由于编者水平有限,错误及不足之处难以避免,敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 12 月

目 录

绪论	1
0.1 材料及材料科学	1
0.2 机械工程的分类	1
0.3 机械工程材料的课程任务与内容	2
第一章 材料的性能	3
1.1 力学性能	3
1.2 物理和化学性能	8
1.3 工艺性能	10
第二章 材料的结构	12
2.1 材料的结合方式	12
2.2 金属的晶体结构	15
2.3 合金的相结构	22
2.4 陶瓷和聚合物的结构特点	27
第三章 材料的凝固	29
3.1 液体的结构	29
3.2 金属的结晶过程	30
3.3 晶粒大小的控制	32
3.4 同素异构转变	34
3.5 非晶体材料的凝固	35
3.6 快速凝固理论的应用	36
第四章 二元相图	40
4.1 二元相图的建立	40
4.2 二元匀晶相图	41
4.3 二元共晶相图	43
4.4 二元包晶相图	46
4.5 其它类型的二元相图	48
4.6 二元相图的分析 and 应用	49
4.7 铁碳合金相图	51
第五章 金属的塑性变形与再结晶	63
5.1 金属的塑性变形	63
5.2 合金的塑性变形	68
5.3 塑性变形对组织和性能的影响	69
5.4 回复与再结晶	71
5.5 金属的热加工	74
第六章 钢的热处理	76

6.1	概述	76
6.2	钢的加热转变	77
6.3	钢的冷却转变	79
6.4	钢的退火与正火	87
6.5	钢的淬火与回火	89
6.6	钢的表面热处理	97
6.7	表面热处理新技术	103
第七章	工业用钢	105
7.1	概述	105
7.2	钢中的杂质及合金元素	107
7.3	结构钢	111
7.4	工具钢	123
7.5	特殊性能钢	133
第八章	铸铁	143
8.1	概述	143
8.2	常用铸铁	145
8.3	合金铸铁	156
第九章	有色金属及合金	159
9.1	铝及铝合金	159
9.2	铜及铜合金	165
9.3	钛及钛合金	173
9.4	轴承合金	175
第十章	高分子材料	178
10.1	概述	178
10.2	工程塑料	185
10.3	合成橡胶与合成纤维	191
10.4	合成胶粘剂和涂料	193
第十一章	陶瓷材料	196
11.1	概述	196
11.2	陶瓷材料的组织结构与性能	197
11.3	常用工程结构陶瓷材料	202
第十二章	复合材料	205
12.1	概述	205
12.2	复合材料的增强机制及性能	206
12.3	常用的复合材料	208
第十三章	功能材料	215
13.1	功能材料及其分类	215
13.2	弹性材料	216
13.3	膨胀材料	219

13.4	电阻材料·····	220
13.5	超导材料·····	223
13.6	形状记忆材料·····	224
13.7	其他功能材料·····	227
13.8	未来材料的发展方向·····	228
第十四章	机械零件的失效与强化·····	229
14.1	零件的失效形式·····	229
14.2	零件失效分析的一般方法·····	230
14.3	机械零件失效分析举例·····	233
14.4	工程材料的强化与强韧化·····	238
第十五章	机械零件的选材·····	242
15.1	选材的一般原则·····	242
15.2	典型零件选材及应用举例·····	242
参考文献	·····	249

绪 论

0.1 材料及材料科学

材料是人类生活和从事生产的物质基础,是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的标志。因此,历史学家按照人类使用材料的种类和性质差异把历史时代分为石器时代、青铜器时代、铁器时代……今天人类正处在人工合成材料、机敏智能材料的时代。目前,材料的品种、数量和质量已是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防力量的重要标志之一。人类从钻木取火、油灯照明至核能发电,从人力车、马车到宇宙飞船,从弓箭、火炮到巡航导弹……充分反映了制造生产工具的材料所发挥的重要。近代科学技术的发展足迹时刻记录着材料所做出的卓越贡献。18 世纪 60 年代蒸汽机的出现引发了以蒸汽为动力的工具自动化。19 世纪 70 年代由于电磁场理论的发展而导致发电机、电动机的大量采用,从而出现了以电为动力的工业电气化。20 世纪四项重大发现,即原子能、半导体、计算机、激光器的发展及应用,带动了高度信息的工业自动化。如果没有钢铁材料,没有有色金属材料以及非晶、微晶、纳米材料、陶瓷、高分子材料及人工合成材料提供物质保证,这一切均是不可能的。人类日常生活更是如此,试想人们如果离开由材料制成的冰箱、彩电、电饭煲、收录机、空调等生活用品该如何生活? 因此材料已成为人类赖以生存的物质基础。材料、能源、信息已被誉为现代科学技术发展的三大支柱。可以预见,随着科学技术及国民经济的发展材料将起着愈来愈大的作用,21 世纪将是机敏智能材料的新时代。

0.2 机械工程的分类

工程材料是指具有一定性能,在特定条件下能够承担某种功能、被用来制取零件和元件的材料。工程材料种类繁多,有许多不同的分类方法。

1. 按材料的化学组成分类

(1)金属材料

金属材料可分为黑色金属材料(钢和铸铁)及有色金属材料(除钢铁之外的金属材料)。有色金属材料种类很多,按照它们的特性的不同,又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种。目前金属材料仍然是应用最广泛的工程材料。

(2)无机非金属材料

无机非金属材料包括水泥、玻璃、耐火材料和陶瓷等。它们的主要原料是硅酸盐矿物,又称硅酸盐材料,因不具备金属性质亦称无机非金属材料。

(3)高分子材料

高分子材料按材料来源可分为天然高分子材料(蛋白、淀粉、纤维素等)和人工合成高分子材料(合成塑料、合成橡胶、合成纤维)。按性能及用途可分为塑料、橡胶、纤维、胶粘剂、涂

料。

(4) 复合材料

由于多数金属材料不耐腐蚀、无机非金属材料脆性大、高分子材料不耐高温,人们把上述两种或两种以上的不同材料组合起来,使之取长补短、相得益彰就构成了复合材料。复合材料由基本材料和增强材料复合而成。基本材料有金属、塑料、陶瓷等,增强材料有各种纤维和无机化合物颗粒等。

2. 按材料和使用性能分类

(1) 结构材料

结构材料是以强度、刚度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度、耐磨性等力学性能为性能指标,用来制造承受载荷、传递动力的零件和构件的材料。其可以是金属材料、高分子材料、陶瓷材料或复合材料。

(2) 功能材料

功能材料是以声、光、电、磁、热等物理性能为性能指标、用来制造具有特殊性能的元件的材料,如大规模集成电路材料、信息记录材料、光学材料、充电材料、激光材料、超导材料、传感器材料、储氢材料等都属于功能材料。目前功能材料在通讯、计算机、电子、激光和空间科学等领域中扮演着极重要的角色。

在人类漫长的历史发展过程中,材料一直是社会进步的物质基础与先导。21 世纪,材料科学必将在当代科学技术迅猛发展的基础上,朝着高功能化、超高性能化、复杂化(复合化和杂化)和智能化的方向发展,从而为人类社会的物质文明建设作出更大贡献。

0.3 机械工程材料的课程任务与内容

机械工程材料是机械制造、机械设计、机械电子等机械类或近机类各专业的技术基础课。其目的是使学生获得有关工程结构和机器零件常用的金属材料和非金属材料的基本理论知识,并使其初步具备根据零件工作条件和失效方式合理选择与使用材料,正确制订零件的冷、热加工工艺路线的能力。

“机械工程材料”的内容包括:

1. 机械工程材料的基础理论。即材料的性能、材料的结构、材料的凝固、二元合金及铁碳相图、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理。

2. 工程材料。即工业用钢、铸铁、有色金属及合金、高分子材料、无机非金属材料、复合材料、功能材料。

3. 工程材料零件的失效、强化与选材。即机械零件的失效与强化,机械零件的选材。

“机械工程材料”是以化学、物理、材料力学及金属工艺学和金工教学实习为基础的课程,在学习时应联系上述基础课程的有关内容,以加深对本课程内容的理解。同时本课程又是设计选材的基础,在今后学习有关专业课程时,还应经常联系本书的有关内容,以便进一步掌握所学知识。此外,“机械工程材料”是一门从生产实践中发展起来,而又直接为生产服务的科学,所以学习时不但要注意学习基本理论,而且要注意联系生产实际及实验室试验。

第一章 材料的性能

为了正确地使用工程材料,应充分了解和掌握材料的性能。材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料制成零件或构件后,为保证其正常工作和一定的工作寿命,所必须具备的性能。它包括力学、物理和化学性能等。工艺性能是指材料在冷、热加工过程中,为保证加工过程的顺利进行材料所必须具备的性能。它包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。

1.1 力学性能

力学性能是指材料抵抗各种外加载荷的能力,其中包括弹性与刚度、强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

1.1.1 弹性与刚度

在拉伸试验机上对标准试样进行拉伸试验,可得到拉力与伸长的关系图,即拉伸图。图 1-1 是低碳钢的拉伸图。

在拉伸图上, oe 段为弹性变形阶段,即卸载后试样恢复原状,这种变形称为弹性变形。 e 点的应力 σ_e 称为弹性极限。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——产生弹性变形所受的最大外力;

A_0 ——试样原始横截面积。

材料在弹性范围内,应力与应变的比值 E 称为弹性模量,即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

式中 σ 表示外加的应力, ϵ 为相应的应变。

E 标志材料抵抗弹性变形的能力,用以表示材料的刚度。 E 值主要取决于各种材料的本性,一些处理方法(如热处理、冷热加工、合金化等)对它影响很小。而零件的刚度大小取决于零件的几何形状和材料的种类(即材料的弹性模量)。

1.1.2 强度

材料在外力作用下抵抗变形与断裂的能力称为强度。根据外力作用方式的不同,强度

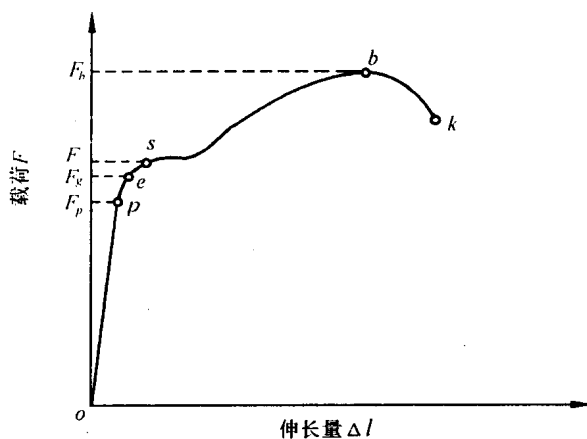


图 1-1 低碳钢的拉伸图

有多种指标,如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪切强度和抗扭强度等。其中抗拉强度指标应用最为广泛。

如图 1-1,当外力超过 F_e 点时,卸载后试样的伸长只能部分恢复。这种不随外力去除而消失的变形称为塑性变形。当外力增加到 F_s 点时,图上出现了平台。这种外力不增加而试样继续发生变形的现象称为屈服。材料开始产生屈服时的最低应力 σ_s 称为屈服强度,即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s 为试样开始屈服时所受外力。

工程上使用的材料多数没有明显的屈服现象。这类材料的屈服强度在国标中规定以试样的塑性变形量为试样标距的 0.2% 时的材料所承受的应力值来表示,并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。它是 $F_{0.2}$ 与试样原始横截面积 A_0 之比,见图 1-2。

材料发生屈服后,其应力与应变的关系曲线如图 1-1 的 sb 段,到 b 点应力达最大值 σ_b , b 点以后,试样的截面产生局限“颈缩”,迅速伸长,这时试样的伸长主要集中在缩颈部位,直至拉断。最大应力值 σ_b 称为抗拉强度,它是零件设计和评定材料时的重要强度指标。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b 为试样在断裂前所承受的最大外力。

1.1.3 塑性

材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的性能称为塑性。常用的塑性指标有延伸率(δ)和断面收缩率(ψ)。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样的标距长度;

l_1 ——试样拉断后的标距长度。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_1 ——试样拉断后细颈处横截面积。

1.1.4 硬度

硬度是指材料对局部塑性变形的抗力。通常,材料越硬,其耐磨性越好。同时通过硬度值可估计材料的近似 σ_b 值。硬度试验方法比较简单、迅速,可直接在原材料或零件表面上测试,因此被广泛应用。常用的硬度测量方法是压入法,主要有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV)

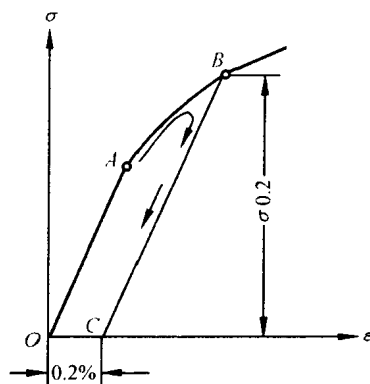


图 1-2 $\sigma_{0.2}$ 的确定

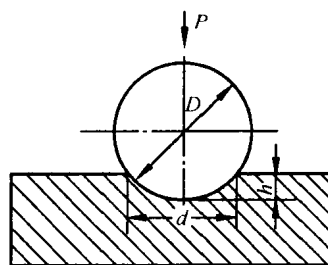


图 1-3 布氏硬度试验原理图

等。陶瓷等材料还常用克努普氏显微硬度(HK)和莫氏硬度(划痕比较法)作为硬度指标。

1. 布氏硬度

试验规范如表 1-1,实验方法如图 1-3。即用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,以相应的压力压入试样表面,保持规定的时间后去除外力,在试样表面留下球形压痕。布氏硬度值是外力除以压痕球冠表面积。在试验中,硬度值不需计算,是用刻度放大镜测出压坑直径 d ,然后对照有关附录查出相应的布氏硬度值。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料	布氏硬度	试样厚度 (mm)	压力 F 与钢球直径 D 的相互关系	钢球直径 D (mm)	压力 F (N)	压力保持时间 (s)
黑色金属	140~450	6~3 4~2 <2	$F = 30D^2$	10 5 2.5	29 420 7 355 1 838	10
	<140	>6 6~3 <3	$F = 10D^2$	10 5 2.5	9 807 2 452 613	10
有色金属	>130	6~3 4~2 <2	$F = 30D^2$	10 5 2.5	29 420 7 355 1 838	30
	36~130	9~3 6~3 <3	$F = 10D^2$	10 5 2.5	9 807 2 452 613	30
	8~35	>6 6~3 <3	$F = 2.5D^2$	10 5 2.5	2 452 613 153	60

淬火钢球用以测定硬度 $HB < 450$ 的金属材
料,如灰铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的
钢材,其硬度值以 HBS 表示。布氏硬度在 450~650
之间的材料,压头用硬质合金球,其硬度值用 HBW
表示。

布氏硬度的优点是具有较高的测量精度,因其
压坑面积大,比较真实地反映出材料的平均性能。
另外,由于布氏硬度与 σ_b 之间存在一定的经验关
系,如热轧钢的 $\sigma_b = (3.4 \sim 3.6)HBS$,冷变形铜合
金 $\sigma_b \approx 4.0HBS$,灰铸铁 $\sigma_b \approx 1.7(HBS - 40)$,因此
得到广泛的应用。但不能测定高硬度材料。

2. 洛氏硬度

试验原理如图 1-4。它是以一定尺寸的淬火钢球或以顶角为 120° 的金刚石圆锥压入
试样表面。试验时,先加初载荷,然后加主载荷。压入试样表面之后,去除主载荷。在保留
初载荷的情况下,根据试样表面压痕深度($h = h_3 - h_1$)确定被测材料的洛氏硬度。

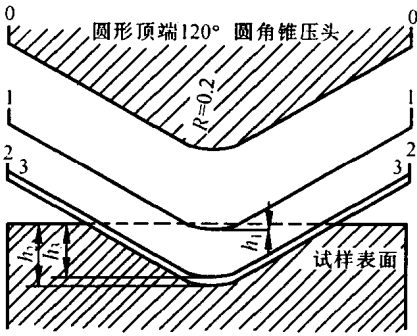


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

为了能用一种硬度计测定较大范围的硬度,常用三种硬度标度,如表 1-2 所示。

表 1-2 常用洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力 (N)	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120° 金刚石圆锥体	1 471.0	HRC20~67	一般淬火钢件
HRB	$\varnothing \frac{1}{16}$ 钢球	980.7	HRB25~100	软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	HRA60~85	硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度试验的优点是操作迅速、简便,可由表盘上直接读出硬度值。由于其压痕小,故可测量较薄工件的硬度。其缺点是精度较差,硬度值波动较大,通常应在试样不同部位测量数次,取平均值为该材料的硬度值。

3. 维氏硬度

布氏硬度不适用检测较高硬度的材料。洛氏硬度虽可检测不同硬度的材料,但不同标尺的硬度值不能相互直接比较。而维氏硬度可用一标尺来测定从极软到极硬的材料。

维氏硬度试验原理与布氏法相似,也是以压坑单位表面积所承受压力大小来计算硬度值的。它是用对面夹角为 136° 的金刚石四棱锥体,在一定压力作用下,在试样试验面上压出一个正方形压痕,如图 1-5 所示。通过设在维氏硬度计上的显微镜来测量压坑两条对角线的长度,根据对角线的平均长度,从相应表中查出维氏硬度值。

维氏硬度试验所用压力可根据试样的大小、厚薄等条件来选择。压力按标准规定有 49N、98N、196N、294N、490N、980N 等。压力保持时间:黑色金属 10~15s,有色金属为 $30 \pm 2s$ 。

维氏硬度可测定很软到很硬的各种材料。由于所加压力小,压入深度较浅,故可测定较薄材料和各种表面渗层,且准确度高。但维氏硬度试验时需测量压痕对角线的长度,测试手续较繁,不如洛氏硬度试验法那样简单、迅速。

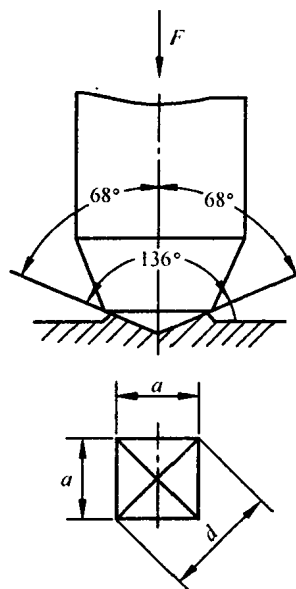


图 1-5 维氏硬度试验原理图

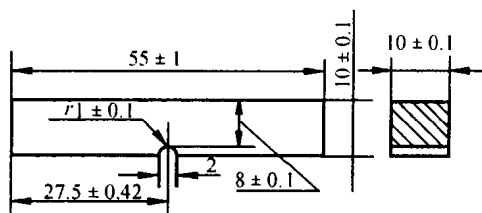
1.1.5 韧性

许多机械零件在工件中往往受到冲击载荷的作用,如活塞销、锤杆、冲模和锻模等。制造这类零件所用的材料不能单用在静载荷的作用下的指标来衡量,而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性。为了评定材料的冲击韧性,需进行冲击试验。

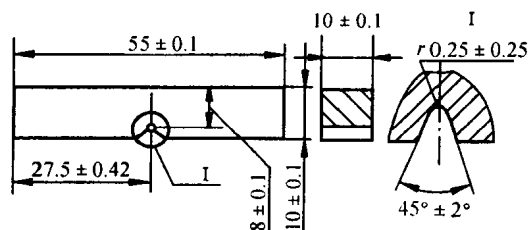
1. 摆锤式一次冲击试验

冲击试样的类型较多,常用的标准试样如图 1-6 所示。

一次冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行的。试验时将带缺口的试样安放在试验机的机架上,使试样的缺口位于两支架中间,并背向摆锤的冲击方向,如图 1-7 所示。



(a) U型缺口试样



(b) V型缺口试样

图 1-6 标准冲击试样

摆锤从一定的高度落下,将试样冲断。冲断时,在试样横截面的单位面积上所消耗的功称为冲击韧性值,即冲击韧度,用符号 a_K 表示。由于冲击试验采用的是标准试样,目前一般用冲击功 A_K 表示冲击韧性值。

必须说明的是使用不同类型的试样(U型缺口或V型缺口)进行试验时,其冲击吸收功分别为 A_{KU} 或 A_{KV} , 冲击韧度则分别为 a_{KU} 或 a_{KV} 。

2. 小能量多次冲击试验

实践表明承受冲击载荷的机械零件很少用一次能量冲击而遭破坏,绝大多数是小能量多次冲击作用下而破坏的,如凿岩机风镐上的活塞、冲模的冲头等。所以上述的 a_K 值是不能代表这种零件抵抗多次小能量冲击的能力。

小能量多次冲击试验是在落锤式试验机上进行的。如图 1-8 所示,带有双冲点的锤头以一定的冲击频率(400、600 周次/min)冲击试样,直至冲断为止。多次冲击抗力指标一般是以某冲击功 A 作用下,开始出现裂纹和最后断裂的冲击次数来表现的。

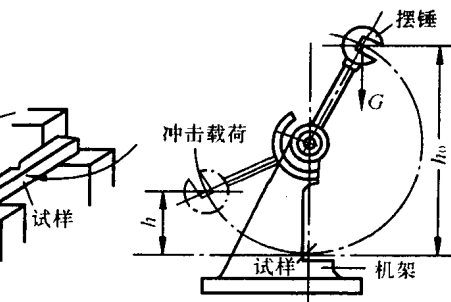


图 1-7 摆锤式一次冲击试验原理图

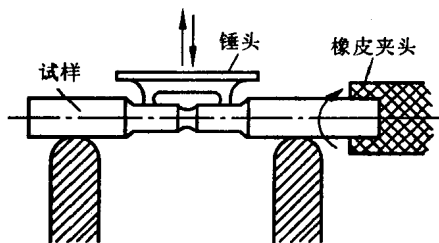


图 1-8 多次冲击弯曲试验示意图

1.1.6 疲劳

许多机械零件,如曲轴、齿轮、轴承、叶片和弹簧等,在工作中各点承受的应力随时间作周期性的变化,这种随时间作周期性变化的应力称为交变应力。在交变应力作用下,零件所承受的应力虽然低于其屈服强度,但经过较长时间的工作会产生裂纹或突然断裂,这种现象称为材料的疲劳。据统计,在机械零件失效中大约有 80% 以上的是属于疲劳破坏的。

机械零件之所以产生疲劳断裂,是由于材料表面或内部有缺陷(夹杂、划痕、尖角等)。这些地方的局部应力大于屈服强度,从而产生局部塑性变形而开裂。这些微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,使承载的截面大大减少,以至不能承受所加载荷而突然断裂。

1. 疲劳曲线和疲劳强度

疲劳曲线是指交变应力与循环次数的关系曲线,如图 1-9 所示。曲线表明,金属承受的交变应力越大,则断裂时应力循环次数(N)越少。反之,则 N 越大。

同时看到,当应力低于一定值时,试样可经受无限个周期循环而不破坏,此应力值称为材料的疲劳强度,用 σ_r 表示。对于应力对称循环的疲劳强度用 σ_{-1} 表示。实际上,材料不可能作无限次交变应力试验。对于黑色金属,一般规定应力循环 10^7 周次而不断裂的最大应力称为疲劳极限,有色金属、不锈钢等取 10^8 周次。

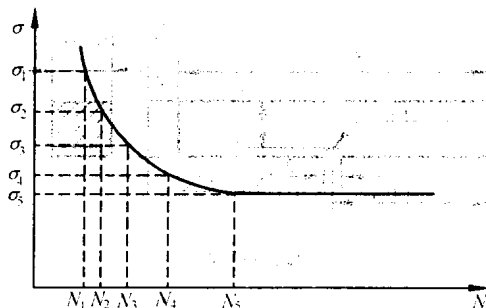


图 1-9 疲劳曲线示意图

2. 提高零件疲劳抗力的方法

可通过合理选材,细化晶粒,减少材料和零件的缺陷;改善零件的结构设计,避免应力集中;提高零件的表面光洁度;对零件表面进行强化处理(喷丸处理、表面淬火、渗与镀工艺等)都可提高零件的疲劳强度。

1.2 物理和化学性能

1.2.1 物理性能

1. 密度

单位体积的物质的质量称为该物质的密度。不同材料的密度不同,如钢为 7.8 左右,陶瓷为 2.2~2.5,各种塑料的密度更小。常用金属的密度见表 1-3。

表 1-3 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度(20℃) (kg/m ³)	熔点 (℃)	热导率 (W/m·k)	线胀系数 (0~100℃) (10 ⁻⁶ /℃)	电阻率 ρ (10 ⁻⁸ Ω·cm)
银	Ag	10.49×10 ³	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96×10 ³	1 083	393.5	17	1.67~1.68(20℃)
铝	Al	2.7×10 ³	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74×10 ³	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3×10 ³	3 380	166.2	4.6(20℃)	5.1
镍	Ni	8.9×10 ³	1 453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87×10 ³	1 538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3×10 ³	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19×10 ³	1 903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508×10 ³	1 677	15.1	8.2	42.1~47.8
锰	Mn	7.43×10 ³	1 244	4.98(-192℃)	37	185(20℃)